

# การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการผสมพอลิพลอสตินกับยางอนุภาคนาโน BY USING DESIGNE OF EXPERIMENT (DOE) TECHNIQUE IN MIXING OF POLYPROPYLENE WITH NANO RUBBER

ฤทธิชัย สังขทิพย์<sup>1\*</sup>, ยุทธณรงค์ จงจันทร์<sup>2</sup>, ยอดนภา เกษเมือง<sup>3</sup>  
Rittichai Sangkatip<sup>1\*</sup>, Yuthanarong Jongjun<sup>2</sup>, Yodnapha ketmuang<sup>3</sup>  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน<sup>1\*</sup>  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี<sup>2,3</sup>  
namieptwit@hotmail.co.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโนโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียวของพอลิพรอพิลีน ในการทดลองครั้งนี้ใช้ยางอนุภาคนาโนมาเป็นสารตัวเติมตามสัดส่วนพอลิพรอพิลีนต่อยางอนุภาคนาโนที่ 100: 0, 99.5: 0.5, 99:1, 98.5:1.5 และ 98:2 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type IV และ ASTM D 256 โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ General Factorial ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณยางอนุภาคนาโนโดยน้ำหนักที่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบในการผสมที่ 40, 60 และ 80 รอบต่อนาที และอุณหภูมิในการผสมที่ 180 และ 200 °C ตัวแปรตอบสนองคือค่าการต้านทานต่อแรงดึงและค่าการต้านทานต่อแรงกระแทก ทำการศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยต่างๆโดยใช้วิธีวิเคราะห์ผล ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากผลการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโนคือที่ปริมาณยางอนุภาคนาโน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ความเร็วรอบในการผสมที่ 40 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการผสม 180 °C ค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 52 MPa และค่าการต้านทานแรงกระแทกเท่ากับ 32.55 kJ/m<sup>2</sup> ผลการทดลองดังกล่าวเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาการผลิตวัสดุเชิงประกอบกับพลาสติกชนิดต่างๆเพื่อให้ตอบสนองกับความต้องการใช้พลาสติกในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ** : การทดลองเชิงแฟคทอเรียล, กระบวนการผสมวัสดุเชิงประกอบ, ยางอนุภาคนาโน

## Abstract

The objective of this research is to identify the optimal factors in mixing composite material between polypropylene and nano rubber by using design of experiment (DOE) technique in order to increase the toughness of the polypropylene. The experiment was conducted by mixing polypropylene with the nano rubber as filler at proportion of 100: 0, 99.5: 0.5, 99:1, 98.5:1.5 and 98:2 The specimens were tested according to ASTM D 638 Type IV and ASTM D 256 Standard. The general factorial design was used to investigate the behavior of materials based on three main factors; (1) nano rubber by weight at 0.5, 1, 1.5 and 2% (2) speed of mixing at 40, 60 and 80 rpm and (3)

Temperature at 180 °C and 200 °C. The responses were considered by performing tension and shear. The ANOVA was used to statistically analyze the main impact and interaction impact among three factors at the confidence level at 95 percent. The results showed that the most appropriate factors are the rubber particles of 1% by weight, at mixing speed from 40 rpm and the temperature of 180 °C. The tensile strength is 52 MPa and impact strength is 32.55 kJ/m<sup>2</sup>. Result of this research can be used as a line to the development of composite materials of various plastics to meet the demand of plastic use in the future.

**Keywords:** factorial design, composite material mixing, Nano rubber

### บทนำ

จากการศึกษางานวิจัยและทำการทดลองเบื้องต้นพบว่าพลาสติกบางชนิดมีความแข็งแรงสูงแต่เปราะ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดและสนใจศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเหนียวให้ดียิ่งขึ้น โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งเน้นการวิเคราะห์ในเชิงสถิติ มีค่าการทดสอบทางกลในส่วนทางด้านวัสดุมาเป็นส่วนประกอบการวิเคราะห์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งเป็นหนึ่งในพลาสติกที่มีปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในอุตสาหกรรมการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิเช่น กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและดัลป์เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน กล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระจองน้ำมันเครื่อง กระสอบข้าวและถุงบรรจุปุ๋ย ตามข้อมูลความต้องการการใช้เม็ดพลาสติกของประเทศไทย [1] ดังนี้

ปี/หน่วย : พันตัน

ปริมาณการใช้เม็ดพลาสติก	2551	2552	2553	2554
PE,PP,PVC, PS+EPS,ABS/SAN และอื่นๆ	2,998	2,954	3,431	3,561

PE = Polyethylene, PP = Polypropylene, PVC = Poly Vinyl Chloride, PS/EPS = Polystyrene, ABS/SAN = Acrylonitrile Butadiene Styrene

การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเหนียวของพลาสติกชนิดดังกล่าว ส่วนใหญ่จะนิยมเติมยางเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียว ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการนำยางอนุภาคนาโน (Elastomeric nano Particle (ENP)) มาเติมในพอลิพรอพิลีน ซึ่งยางดังกล่าวผลิตจากน้ำยางที่ถูกทำการสังเคราะห์ให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 100 – 200 นาโนเมตร ขนาดดังกล่าวจะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวของยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] นอกจากนั้นยาง มีสมบัติที่จะช่วยเพิ่มความเหนียวทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางในการนำพอลิเมอร์ที่ผสมได้ไปศึกษาวิจัยในการผลิตผลิตภัณฑ์ เครื่องมือ เครื่องใช้หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สอดคล้องกับสมบัติด้านความเหนียวต่อไป

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. **พอลิพรอพิลีน** เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และสารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน สมบัติ ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C ใช้ทำแผ่นพลาสติก ถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนความร้อน หลอดดูดพลาสติก โตะ แก้ว เชือก พรหม เป็นต้น

2. **สารตัวเติม (Filler)** วัตถุประสงค์ของการใช้สารตัวเติมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเมอร์ คือ เพื่อลดต้นทุนของวัตถุดิบ ปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติของวัสดุที่ผสมกับ อิทธิพลของสารตัวเติมต่อสมบัติของพอลิเมอร์แบ่งเป็น [3-4]

3. **ยางอนุภาคนาโน (Elastomeric nano Particle (ENP))** คือ ยางที่ผลิตจากน้ำยาง โดยทำการสังเคราะห์ให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 100 – 200 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงเล็กๆขนาดระดับนาโนเมตร สีขาวขุ่น นำเข้าโดยบริษัท สยามเอ็กซ์เทค จำกัด ได้รับการแต่งตั้งจาก Sinopec Beijing Research Institute of Chemical Industry เป็นตัวแทนจำหน่าย ยางนาโน Narpow แต่เพียงผู้เดียวในประเทศไทย [5]

4. **การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)** เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้าใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ออกมาจากระบบโดยทั่วไป การทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ โดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยป้อนเข้าประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ [6-7]

## การทดลอง

1. **การออกแบบการทดลอง** ใช้วิธีการทดลองเป็น (General Factorial Design) การทดลองแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยต่างๆ ใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย(Factor)	ระดับ(Level)
ปริมาณยางอนุภาคนาโน	0.5 %
	1 %
	1.5 %
	2 %
ความเร็วรอบในการผสม	40 rpm
	60 rpm
	80 rpm
อุณหภูมิในการผสม	180 °C
	200 °C

ค่าตอบสนองในงานวิจัยนี้คือค่าการต้านทานต่อแรงดึงและการต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโน

## 2. การดำเนินการทดลอง

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน เกรด H255JA
- 2) ยางอนุภาคนาโน เกรด VP-101
- 3) อัดรีดแบบเกลียวอนเดี่ยว
- 4) อัดขึ้นรูปร้อน
- 5) เครื่องตัดเม็ดพลาสติก
- 6) เครื่องทดสอบแรงดึง
- 7) เครื่องทดสอบแรงกระแทก
- 8) เตาอบ
- 9) เครื่องชั่งดิจิทัล



ภาพที่ 1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยว

2.2 การผสมพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโนด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)

โดยแบ่งเป็น 8 ขั้นตอนการผสมดังต่อไปนี้

- 1) นำเม็ดพอลิพรอพิลีนไปชั่งน้ำหนักและอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 2) นำพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโน ไปชั่งน้ำหนัก สำหรับผสม โดยมีปริมาณการผสมแสดงในตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สัดส่วนการผสมที่ทำการศึกษา

ลำดับ	พอลิเมอร์ผสม	อัตราส่วนผสม PP: EPN (wt %)	อุณหภูมิในการผสม zone1/zone2/ zone3/die	ความเร็วรอบในการผสม (รอบต่อนาที)
1	PP: EPN	100:0	170/175/180/180 และ 170/175/180/180	40,60, 80
2	PP:EP N	99:1		
3	PP: EPN	97:3		
4	PP: EPN	95:5		
5	PP: EPN	93:7		

3) ผสมพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโนตามสัดส่วนต่างๆ

4) นำพอลิพรอพิลีนที่ผสมกับยางอนุภาคนาโนแล้วไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยว ดังรูปที่ 1 ตามสัดส่วนในตารางที่ 2 ตามลำดับ

5) อุณหภูมิในการผสมคือ ที่โซน 1, โซน 2, โซน 3 และ ดาย (Die) เท่ากับ 170/175/180/180 และ 180/185/190//200 °C ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

6) ความเร็วรอบในการผสมคือ 40,60 และ80 รอบต่อนาที ตามลำดับ

7) นำเส้นพอลิเมอร์ที่ออกมาจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยวให้เย็นตัว โดยปล่อยให้ตกผ่านน้ำ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโน

8) นำเส้นพอลิเมอร์ที่ผสมได้ไปทำการตัดเป็นเม็ดโดยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องตัดเม็ดพลาสติก



ภาพที่ 4 โพลีพรอพิลีนที่ผสมยางอนุภาคนาโน

### 2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

ก. การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบแรง

1) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ตามสัดส่วนต่างๆ ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

2) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูปร้อน โดยใช้แม่พิมพ์รูปดัมเบล ตาม ASTM D 638 Type IV

3) ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190 °C ที่ความดัน 125 Kg/cm<sup>3</sup> ให้ความร้อนก่อนอัดขึ้นรูป 5 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 6 นาที และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยแทนหล่อเย็นเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นรอให้ชิ้นงานเย็นตัวในอุณหภูมิห้อง

4) จะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 5



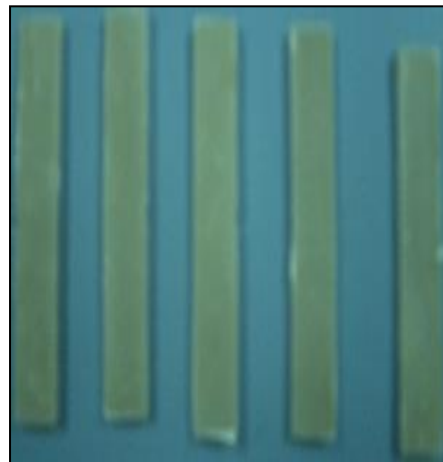
ภาพที่ 5 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type IV

ข. การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงกระแทก

1) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ตามสัดส่วนต่างๆ ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

2) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูปร้อน โดยใช้แม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตาม ASTM D 256 ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190°C ที่ความดัน 125 Kg/cm<sup>3</sup> ให้ความร้อนก่อนอัดขึ้นรูป 5 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 6 นาที และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยแทนหล่อเย็นเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นรอให้ชิ้นงานเย็นตัวในอุณหภูมิห้อง

3) จะได้ชิ้นงานดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก

### 2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

ก. การทดสอบแรงดึง

ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638 จากชิ้นงานทดสอบรูป Dumbbell โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ที่ Load cell 100 N ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min บันทึกแรง และระยะทางที่ยืดโดย Software ของเครื่อง ทำการทดสอบแต่ละตัวอย่างตัวอย่างละ 5 ชิ้น แล้วบันทึกค่าการทดสอบจากเครื่อง

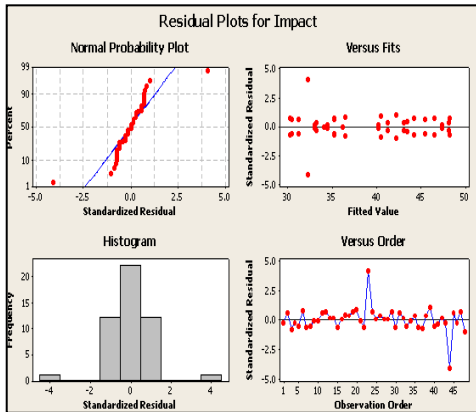
ข. การทดสอบแรงกระแทก

ทำการทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256 จากชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่อง Impact Tester โดยทำการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อสัดส่วนการทดลอง แล้ววิเคราะห์ค่าการทดสอบ บันทึกผล

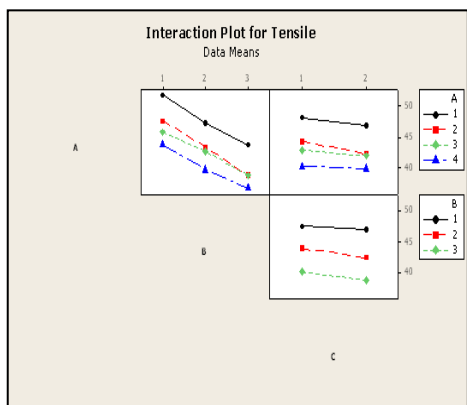
**ผลการทดลอง**

**1. การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป**

Minitap [6-7]



ภาพที่ 7 Model Adequacy checking

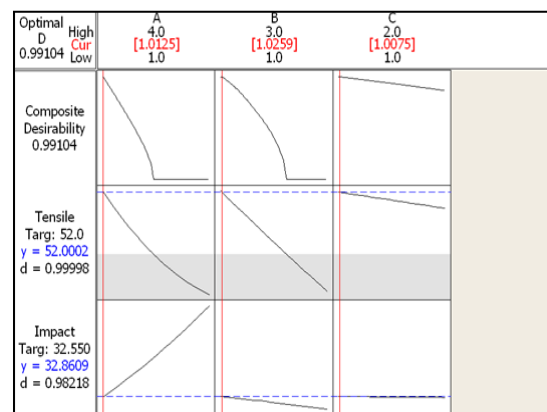


ภาพที่ 8 อิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัย

ผลจากภาพที่ 8 ภาพบนซ้ายแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณยางอนุภาคนาโนกับความเร็วรอบในการผสม ผลจากการวิเคราะห์พบว่าทุกปริมาณยางอนุภาคนาโน ควรเลือกความเร็วรอบในการผสมที่ 40 รอบต่อนาที เพราะให้ค่าการต้านทานแรงดึงที่สูงและต่ำลงเมื่อเลือกความเร็วรอบในการผสมที่ 60 และ 80 รอบต่อนาที ตามลำดับ ภาพบนขวาจะแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณยางอนุภาคนาโนกับอุณหภูมิในการผสม ผลจากการวิเคราะห์พบว่าทุกปริมาณยางอนุภาคนาโน ควรเลือกอุณหภูมิในการผสมที่ 180 °C เพราะให้ค่าการต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าอุณหภูมิในการผสมที่ 200 °C ภาพล่างขวาจะแสดงความเร็วรอบในการผสมกับอุณหภูมิในการผสม ผลจากการวิเคราะห์พบว่าทุก

ความเร็วรอบในการผสม ควรเลือกอุณหภูมิในการผสมที่ 180 °C เพราะให้ค่าการต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าอุณหภูมิในการผสมที่ 200 °C

จากนั้นผู้วิจัยจะทำการเลือกพารามิเตอร์ของปัจจัยต่างๆโดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจค่าการต้านทานแรงดึงไม่ต่ำกว่า 48 MPa และค่าการต้านทานแรงกระแทกไม่ต่ำกว่า 26.72 kJ/m<sup>2</sup> เนื่องจากเป็นค่าของพอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยกำหนดค่า Lower Target and Upper Specification ที่ช่วงของ Tensile 47 ถึง 60 และช่วงของ Impact 26.72 ถึง 50 ซึ่งค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ จะเป็นดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง

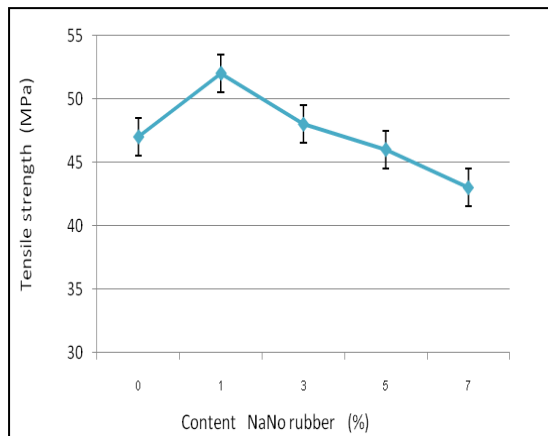
ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเลือกปริมาณยางอนุภาคนาโน ความเร็วรอบในการผสมและอุณหภูมิในการผสมมีดังนี้

- ปริมาณยางอนุภาคนาโน คือ 1 %
- ความเร็วรอบในการผสม คือ 40 รอบต่อนาที
- อุณหภูมิในการผสม คือ 180 °C

**1.1 ผลจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง**

จากการนำชิ้นงานที่ขึ้นรูป Dumbbell ตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type IV มาทดสอบการต้านทานแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ดังภาพที่ 10 จากชิ้นงานทั้งหมดพบว่า



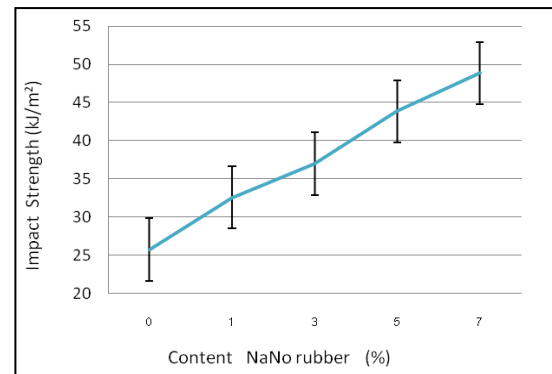


ภาพที่ 10 ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการต้านทานแรงดึงกับปริมาณของยางอนุภาคนาโนในวัสดุผสมพบว่าในตอนต้นที่ปริมาณการผสมยาง 1% ค่าการต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากรูป จะเห็นได้ว่าที่พอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว (สัดส่วนของยาง 0 %) ค่าการต้านทานแรงดึงของพอลิพรอพิลีนคือ 48 MPa เมื่อเติมยางลงไป 1 % พบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงมีค่าเท่ากับ 53 MPa ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากในสัดส่วนนี้ยางทำหน้าที่เป็นสารช่วยเพิ่มความเหนียว เมื่อได้รับแรงกระทำอนุภาคนาโนจะทำหน้าที่ช่วยหยุดยั้งการเกิดการเสีกรูปเมื่อพอลิเมอร์เกิด (Micro Crack) เพราะถูกแรงกระทำพิจารณาที่ปริมาณยางมากขึ้นเป็น 1.5, และ 2 % ค่าการต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม แนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากปริมาณยางมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ยืดหยุ่น (Ductile) มากขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลง

## 2.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

จากการนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยวิธีอัดขึ้นรูปร้อน โดยใช้แม่พิมพ์รูปลิ่มเหลี่ยมผืนผ้า ตาม ASTM D 256 มาทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่าการต้านทานแรงกระแทก

จากภาพที่ 11 ค่าการต้านทานแรงกระแทกเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว (สัดส่วนของยาง 0%) มีค่าการต้านทานแรงกระแทกเท่ากับ 26.72 kJ/m<sup>2</sup> ขณะที่พอลิเมอร์ผสม ที่เติมยางอนุภาคนาโนลงไปมีแนวโน้มสูงขึ้น ที่ 1 % มีค่าการต้านทานแรงกระแทกเท่ากับ 33.55 kJ/m<sup>2</sup> เนื่องจากพิจารณาที่ต้นทุนของยางอนุภาคนาโน จึงเลือกเติมยางอนุภาคนาโนที่ 1 % ซึ่งเพียงพอสำหรับงานวิจัยนี้ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มากที่สุดที่ 2% มีค่าการต้านทานแรงกระแทกเท่ากับ 48.87 kJ/m<sup>2</sup> ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ยางชนิดนี้มีขนาดเล็กมาก กล่าวคือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1 ไมโครเมตร ทำให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอได้ดีเมื่อผสมกับพอลิพรอพิลีน

## สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางอนุภาคนาโนคือ ที่ปริมาณยางอนุภาคนาโน 1 % โดยน้ำหนัก ความเร็วรอบในการผสมที่ 40 รอบต่อนาที และอุณหภูมิในการผสม 180 °C โดยค่าการทดลองคือพอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว (สัดส่วนของยาง 0%) ค่าการต้านทานแรงดึง ของพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 48 MPa ค่าการต้านทานแรงกระแทก เท่ากับ 26.72 kJ/m<sup>2</sup> เมื่อเติมยางลงไป 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 53 MPa และค่าการต้านทานแรงกระแทก เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 33.55 kJ/m<sup>2</sup> ซึ่งเป็นผลมา

จาก ยางอนุภาคนาโนทำหน้าที่เสริมแรงโดยการยึดเกาะ และกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเมื่อได้รับแรงกระทำอนุภาคนาโนจะทำหน้าที่ช่วยหยุดยั้งการเกิดการเสียรูปเมื่อถูกแรงกระทำ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณยางมากขึ้นเป็น 1.5 และ 2% ค่าการต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากปริมาณยางมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ยืดหยุ่นมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึง ลดลง และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณยางมากขึ้นเป็น 1.5 และ 2% ของค่าการต้านทานแรงกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มากที่สุดที่ 2% เนื่องจากพิจารณาที่ต้นทุนของยางอนุภาคนาโน จึงเลือกเติมยางอนุภาคนาโนที่ 1% ซึ่งเพียงพอสำหรับงานวิจัยนี้ [4]

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] สุจิตรา เรืองเดชาวิวัฒน์. (2553). **สมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนเบลด์ และวัสดุผสมใยแก้วเสริมแรงที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกใหม่และถุ่ที่นำกลับมาใช้ใหม่**. วิทยานิพนธ์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- [2] Yiqun Liu, Xiaohong Zhang. (2004). Toughening of polypropylene by combined rubber system of ultrafine full-vulcanized powdered rubber and SBS. Plastic Processing Center, SINOPEC Beijing Research Institute of Chemical Industry,
- [3] อรุษา สรวารี. (2548). สารเติมแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] มนต์ ศรีสวัสดิ์. (2553). **การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับอลูมิเนียมออกไซด์ ที่เหลือใช้จากกระบวนการหล่อฉีด**. วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [5] ใบรายการแสดงสมบัติของพอลิพรอพิลีน เกรด H255JA, บริษัทเครือซีเมนต์ไทย (2555). กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์.
- [6] ประเมศ ชูติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] เปมิกา สุวรรณมณี. (2548). **การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการ ออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.